

光ファイバを用いたNO₂分子の遠隔差分吸収分光計測

Remote Differential Absorption Measurement of NO₂ Molecules using Optical Fibers

小林 喬郎・平間 正章・M. Hamza・稲場 文男
T. Kobayashi, M. Hirama, M. Hamza, H. Inaba

東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

1. はじめに

最近に至り、可視から近赤外域における低損失光ファイバの研究・開発が急速に進み、光通信のみならず光計測などへの利用も可能となって来た。我々は光ファイバの新しい利用法として、遠隔地点の大気汚染分子濃度を測定する差分吸収分光計測方式を検討し、可視域 Ar⁺ レーザ光を用いて NO₂ 分子を検出する基礎的実験を行なった。ここでは、この計測方式の構成と基本的特性の一部を報告する。

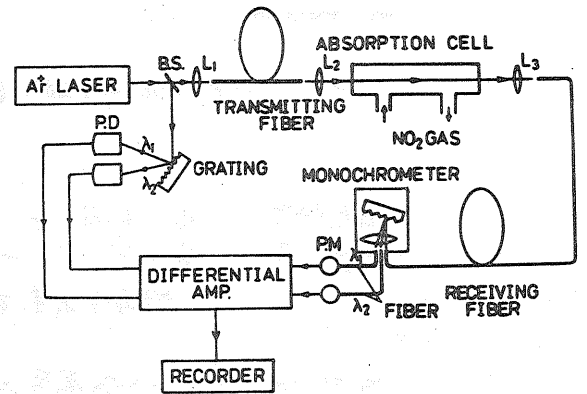


Fig. 1 NO₂ 差分吸収分光計測装置

2. 差分吸収分光計測法

NO₂ の差分吸収分光測定装置のブロック図を Fig. 1 に示す。多波長同時発振の Ar⁺ レーザを光源として用いて、送信用多モードファイバ (N.A.=0.2, d=50μm, 長さ 20~500m) に集光して、NO₂ 吸収セルに伝送する。透過光は再び集光されて受信用多モードファイバ (N.A.=0.4, d=150μm, 長さ 40~500m) で送信戻りに戻す。NO₂ の吸収の大きい $\lambda_1 = 496.5 \text{ nm}$ と、吸収の小さい $\lambda_2 = 514.5 \text{ nm}$ の 2 波長をファイバ出力型の分光器で分光して、2 個のフォトマレで同時検出される。参考光もグレーティングで分光して 2 波長出力をフォトダイオードで検出して、受信光出力と共に演算回路に入れて 2 波長の吸収の差分値より分子濃度が求められる。単一波長でも吸収測定が可能であるが、2 波長差分方式にすることによってレーザ出力のゆらぎの補正は勿論のこと、ファイバの伝送特性の変動の補正、他ガスによるスペクトル干渉雑音の除去が可能となって、測定精度と感度の向上が期待出来る。

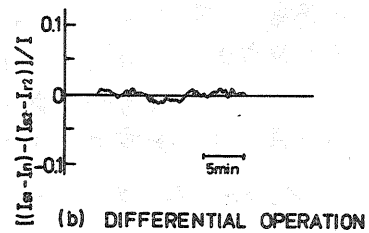
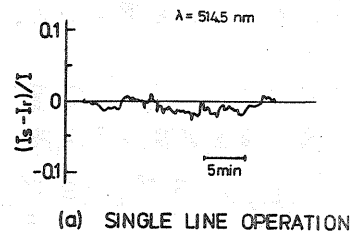


Fig. 2 単一波長動作(a)と2波長動作(b)の出力変動

3. 装置の動作特性

Fig. 2 に 単一波長動作と 2 波長動作の出力成分の変動の一例を示す。前者 (a) では測定誤差 $\epsilon = \pm 2.5\%$ 、後者 (b) では $\epsilon = \pm 1\%$ が得られた。これらの誤差は主にファイバのモ-

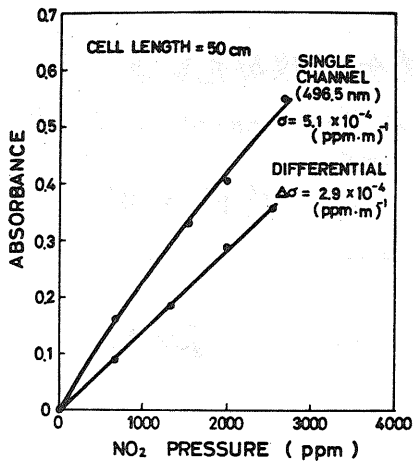


Fig. 3 NO₂ 圧力 に対する 吸収量 の 測定 値

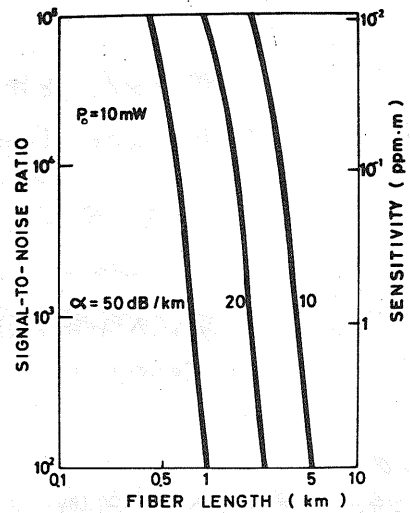


Fig. 4 ファイバ長 に対する (S/N)_s と 検出 感度 の 変化

ド変化による受信光強度の変動に起因している。ファイバへの入射光の条件の最適化によって2波長動作のεをさらに1~2桁減少出来るものと考えられる。

Fig. 3 にセル長 50 cm の場合の NO₂ 濃度 に対する 吸収量 の 変化 を 示す。2 波長 動作 の 差分 吸収 断面積 Δσ = 2.9 × 10⁻⁴ (ppm·m)⁻¹ の 値 は、ガス の 純度 を 考慮 し ない 値 である が、この 補正 により 多少 増大 する もの と 思 わ れ る。

4. NO₂ 吸収 測定 の S/N と 感度

本方式での最少検出可能分子濃度は

$$N_{min} = \frac{1}{\Delta\sigma l} \left\{ \left(\frac{S}{N} \right)_s^{-2} + \left(\frac{S}{N} \right)_f^{-2} + \delta_p^2 \right\}^{1/2} \dots (1)$$

で表わされる。ここで、Δσ: 差分吸収断面積, l: セルの光路長, (S/N)_s: ショット雑音制限による信号対雑音比, (S/N)_f: ファイバモード変化による S/N, δ_p: 信号処理部の誤差である。また、検出器の受信光電力は次式で与えられる。

$$P_{rn} = P_{on} K_n \exp\{-\alpha_{tn} + \alpha_{rn}\} L \cdot \exp\{-N\sigma_n + \beta_n\} l \dots (2)$$

ここで、P_{on}: レーザ出力 (n=1, 2), K_n: 全光学系効率, α_{tn}, α_{rn}: 送信, 受信ファイバ減衰係数, L: ファイバ長, N: 分子濃度, σ_n: 吸収断面積, β_n: 他のガスによる干渉雑音成分である。本方式の検出感度の概算値を示すため、Fig. 4 にファイバ長に対する (S/N)_s と感度 S (= N_{min} · l) の計算結果を示す。P₀ = 10 mW とし、

α_{tn} = α_{rn} = α をパラメータにしている。現在のファイバの値 α ≃ 20 dB/km では (S/N)_s = 100 では L ≃ 3 km, のファイバ長が可能となり、さらに P₀ の値を増大すれば L の増大が可能である。この場合にセル光路長 l = 100 m では N_{min} ≃ 0.1 ppm の大気濃度レベルの検出が出来る。

5. おわりに

ファイバを用いた差分吸収測定方式の装置で吸収測定における信号対雑音比として (S/N) = (S/N)_f = 100 が得られたが、さらにこの値の増大を検討している。

本方式で現状のファイバ技術でも数 km の距離まで精度良く測定出来る可能性がある。色素レーザ等の波長可変レーザを使って波長の最適化を行えば測定感度が更に向上出来る。さらに、近赤外や近紫外域のレーザを用い、多数のファイバを切替えて使用することによって広域にわたる多種類の分子濃度の計測システムが構成できるものと考えられる。